

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛЯЦИО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В АНТАРКТИДЕ

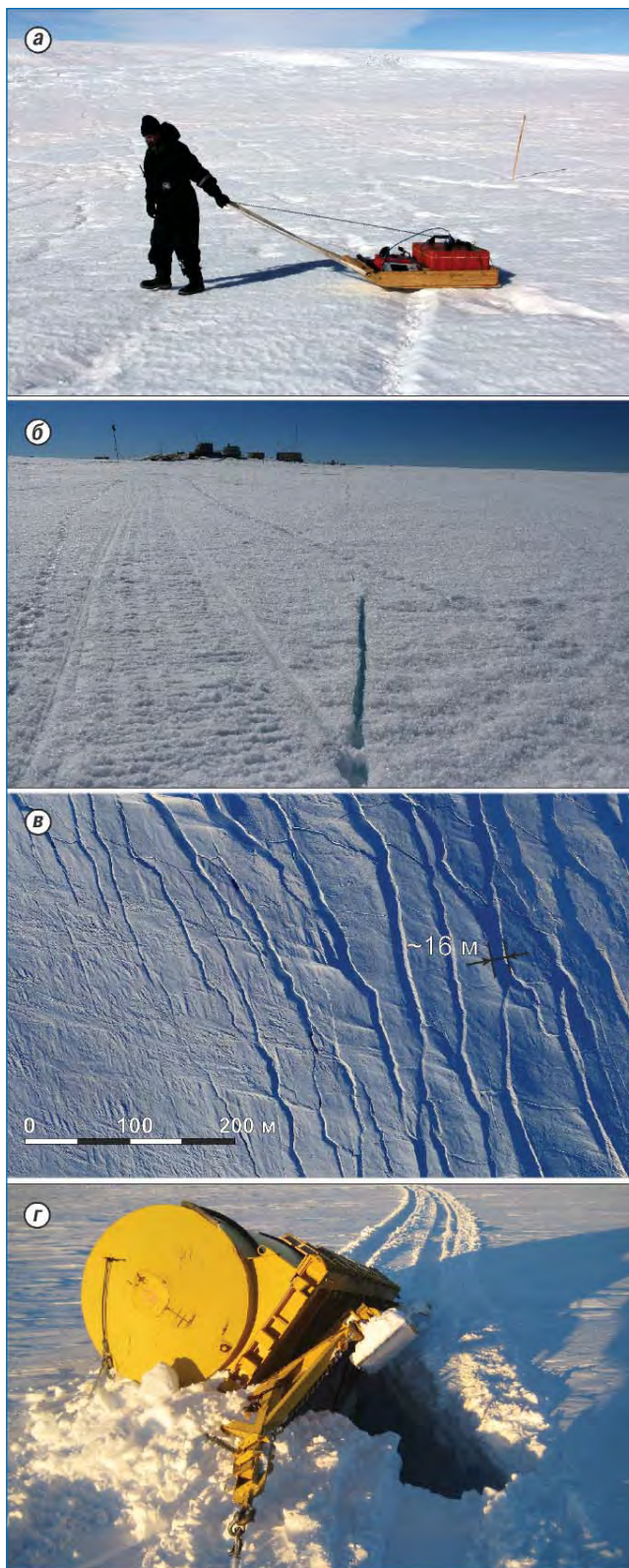
Трещины, ширина которых превышает 5 м, а глубина — пятиэтажный дом, весьма характерны для прибрежной части Антарктиды. Их наличие осложняет транспортные операции и приводит к поломкам техники, а иногда и к гибели людей. Первой жертвой трещин в истории освоения Антарктиды стал механик-водитель А.И. Щеглов, погибший 25 февраля 1964 г. при попытке преодоления одной из них в районе станции Мирный. Спустя почти полвека, 20 ноября 2008 г., в этом же районе погиб механик-водитель Д.А. Ламакин. Надеемся, это была последняя жертва печально известных трещин станции Мирный.

С трещинами связана еще одна не менее важная проблема — это обеспечение безопасной эксплуатации имеющихся снежно-ледовых взлетно-посадочных полос (ВПП) на ледниках и строительство новых. Совершенно очевидно, что возникновение этих опасных объектов на ВПП приводит к весьма негативным последствиям. Таким образом, своевременное выявление и локализация трещин в приповерхностной части ледника является насущной необходимостью обеспечения безопасности личного состава и техники в Антарктиде.

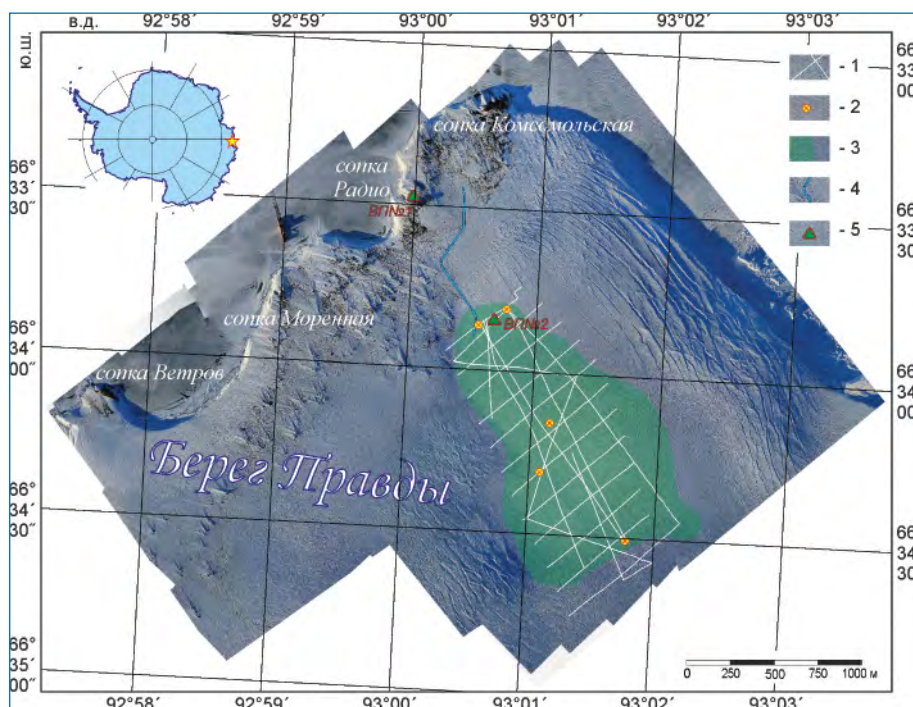
С целью решения этой важной задачи в ходе сезонных работ 60-й РАЭ (2014/15 г.) были выполнены гляцио-геофизические исследования на ледниках в районах базирования отечественных станций Мирный и Прогресс. Работы включали в себя георадарное профилирование, керновое бурение и аэрофотосъемку. Первый метод исследований является наиболее эффективным при изучении трехмерного строения ледника и выявления в нем любых неоднородностей. Второй — керовое бурение — в гляциологии является самым точным методом изучения. Однако при его применении данные о строении ледника носят точечный характер и могут быть получены лишь в пункте бурения. Эти два метода дополняют друг друга, а их совместное использование позволяет наиболее точно описать изучаемый гляциологический объект. В свою очередь аэрофотосъемка, выполненная при низком положении солнца над горизонтом, позволяет не только получить качественный фотоплан для прикладных задач РАЭ, но и нанести на него визуально выявляемые трещины на поверхности ледника.

Гляцио-геофизические работы на станции Мирный и в ее окрестностях были наиболее обширными и значимыми. Они были направлены на инженерные изыскания по выбору места для строительства новой снежно-ледовой ВПП и вертолетной площадки, а также трассы, соединяющей ВПП со станцией. Схема проведения работ показана на фотоплане.

Главной задачей георадарного профилирования являлось выявление и фиксация трещин в приповерхностной части ледника. Лоцирование осуществлялось одновременно на двух частотах: 270 МГц и 900 МГц. Это позволило, с одной стороны, получить общее представление о вертикальном строении ледника, т.е. о первых нескольких десятках метров его толщи. С другой стороны, с высокой детальностью изучить его наиболее практически значимую приповерхностную часть (первые несколько метров). Сопоставление полученных комплексных данных, в свою очередь, позволило с большей



Примеры приповерхностных антарктических трещин в леднике:
а — «залеченные» трещины в районе п/б Прогресс-1; б — небольшие трещины в районе сопки Радио (ст. Мирный); в — фрагмент фотоплана района станции Мирный; г — трещина, на трассе следования СГП «Прогресс — Восток».
Фото С.В. Попова.



Фотоплан станции Мирный: 1 – маршруты георадарной съемки; 2 – пункты ядерного бурения; 3 – область, где отсутствуют трещины значимого размера; 4 – трасса, соединяющая ВПП и станцию Мирный; 5 – положение рекомендуемых вертолетных площадок.

надежностью выявить сами трещины, а также получить обоснованное натурными наблюдениями представление об их строении в свете поставленной задачи. Георадарная съемка выполнялась по сети маршрутов общей протяженностью около 20 км на участке с линейными размерами 1800×950 м георадаром GSSI. В качестве транспортного средства был использован снегоход. При проведении съемки средняя скорость движения по маршрутам составляла около 5 км/ч. Плановая привязка пунктов зондирования осуществлялась с помощью спутниковой навигационной системы. В качестве примера на рисунке представлен типовой временной георадарный разрез, характерный для лоцирования зон трещин.

Главная задача ядерного бурения заключалась в определении скорости распространения радиоволн в верхней части ледника. Скорость определялась посредством отождествления отраженного сигнала на временном разрезе, даваемого георадаром, со слоем, выделяемым по керну ледяной толщи. Полученная скорость является базовой величиной для перехода от временного масштаба в метрический при выполнении георадарного профилирования. В общей сложности было отобрано 5 кернов до глубины 7 м. Совместный анализ

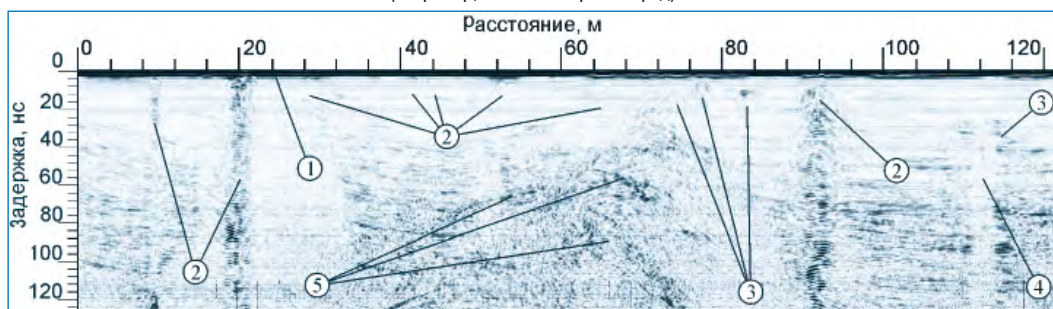
полученных материалов показал, что скорость распространения электромагнитных волн в лоцируемой части ледника составила около 20,2 см/нс. Эта величина соответствует средней эффективной диэлектрической проницаемости около 2,2.

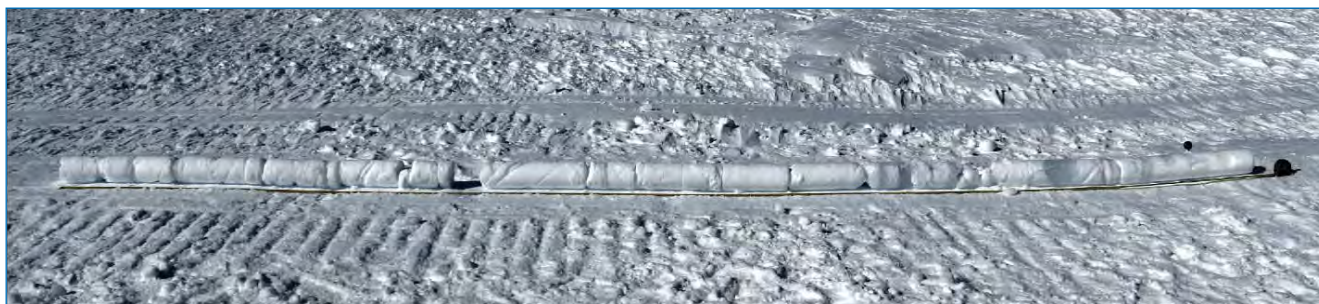
Аэрофотосъемка станции Мирный, ее окрестностей и предполагаемого места строительства ВПП выполнена в масштабе с разрешением 16 пиксель/см была проведена 11 января 2015 г. с использованием вертолета Ка-32. В общей сложности получено 219 фотоснимков.

Полученные данные комплексной гляцио-георадарной съемки позволили выявить на леднике обширную зону северо-западного простирания размерами приблизительно 1600×550 м, на которой значимые для выполнения взлетно-посадочных операций трещины ни георадарными, ни визуальными, ни аэрофотосъемочными методами не были обнаружены. Этот район на момент выполнения работ в целом пригоден для строительства ВПП. Однако, ввиду близости обширных зон трещин, необходимо осуществлять ежегодный мониторинг гляциологической обстановки в районе новой ВПП.

Другой, не менее важной частью полевых работ было выявление и локализация трещин в районе станции Про-

Пример типичного временного георадарного разреза, выполненного при лоцировании зон трещин в ледовом массиве: 1 – нулевая отметка (поверхность ледника); 2 – отражения от стенок приповерхностных трещин; 3 – отражения от стенок широких трещин, перекрытых относительно мощными снежными мостами; 4 – отражения, характеризующиеся значимым ослаблением сигнала, связанные с затуханием волн в трещине; 5 – отражения, связанные с инородными включениями (например, обломков горных пород).





Керн, взятый на трассе следования СГП «Прогресс – Восток». Фото С.П. Полякова.

гресс по маршруту санно-гусеничного похода (СГП) со станции Прогресс на станцию Восток. На сегодняшний день, как и полвека назад, жизнедеятельность внутриконтинентальной станции Восток и реализация многочисленных научных программ, в том числе и приоритетная программа проникновения в подледниковое озеро Восток, полностью зависят от логистических мероприятий, выполняемых исключительно с помощью СГП. Существующая трасса в районе станции Прогресс проходит через зону трещин, что делает ее небезопасной для людей и транспортной техники. В связи с этим поиск надежного маршрута для пересечения этой зоны риска, а также своевременное выявление появляющихся новых трещин в районе трассы является одной из приоритетных задач РАЭ.

Длина опасного участка трассы, на котором предполагается наличие трещин, составляет около 50 км. В период сезонных работ 60-й РАЭ были начаты гляцио-георадарные исследования первых 35 км трассы (от начала зоны трещин) этого участка. Эти работы, как и в районе станции Мирный, включали георадарное профилирование, керновое бурение и аэрофотосъемку. Лоцирование также осуществлялось одновременно на двух частотах: 270 и 900 МГц. Для определе-

ния скорости распространения электромагнитных волн в теле ледника был взят керн до глубины 640 см. Аэрофотосъемка была выполнена вдоль трассы с разрешением 16 пиксель/см.

Комплексный анализ полученных данных на обследованном участке трассы подтвердил отсутствие трещин значимого размера в ледовой толще и показал, что этот участок в данное время является безопасным для эксплуатации. Тем не менее, согласно материалам аэрофотосъемки, на расстоянии всего несколько сотен метров от нее были обнаружены опасные трещины. В данном месте было проведено дополнительное георадарное лоцирование на частоте 900 МГц. Приведенные данные показывают, что ширина трещины составляет около 5 м.

Вопросы безопасности научных работ и обеспечения жизнедеятельности зимовочных станций, полевых баз и лагерей всегда были приоритетной задачей РАЭ, и гляцио-георадарные работы в период сезонных работ 60-й РАЭ внесли свой посильный вклад в ее решение.

*С.В. Попов (ФГУНПП «ПМГРЭ»),
С.П. Поляков, С.С. Пряжин, В.Л. Мартынов,
В.В. Лукин (АНИИ)*



Аэрофотоснимок, выполненный в районе трассы следования СГП «Прогресс – Восток». Трещина в теле ледника показана белыми стрелками. Фото С.С. Пряжина.

Временной георадарный разрез, полученный над трещиной, расположенной в районе трассы следования СГП: 1 – нулевая отметка (поверхность ледника); 2 – значимое ослабление отраженных импульсов, связанное с наличием трещины; 3 – дифрагированные волны, сформированные фрагментами стенок трещины; 4 – отражения, сформированные трещинами с относительно ровными стенками; 5 – отражения от нижней границы снежного моста; 6 – отражения, сформированные от нависающих (предположительно ледовых) козырьков или разрушенных фрагментарных снежно-ледовых мостов.

